

航天清华一号卫星及其应用

赵凯嘉 主编



 中国宇航出版社

航天清华一号卫星及其应用

赵凯嘉 主编

中国宇航出版社

2002

1340264

图书在版编目 (CIP) 数据

航天清华一号卫星及其应用 / 赵凯嘉主编. —北京: 中国宇航出版社, 2002.10
ISBN 7-80144-471-X

I. 航... II. 赵... III. 人造卫星-简介 IV. V474

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 072346 号

出版 **中国宇航出版社**

社址 北京市和平里滨河路 1 号

邮编 100013

经销 新华书店

发行部 (010)68372924 (010)68373451(传真)

读者 北京市阜成路 8 号

服务部 (010)68371105 (010)68522384(传真)

邮编 100830

承印 北京航信印刷厂

版次 2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月第 1 次印刷

规格 787×1092

开本 1/16

印张 6

字数 98 千字

印数 1~800 册

书号 ISBN 7-80144-471-X

定价 18.00 元

本书如有印装质量问题可与发行部调换

中国航天科工集团公司夏国洪总经理

为本书题写书名

《航天清华一号卫星及其应用》编委会

主 编：赵凯嘉

副 主 编：尤 政 孟 波 胡如忠 刘 侠

编 委：（以姓氏笔划为序）

于世洁	王吉信	王均灿	王新杰	邓吉秋	史 岚
田文新	刘一薇	刘玉机	华秀菁	孙中庆	孙司衡
孙志文	汤大立	汤君友	许振辉	阮仁崇	张 兵
李 虎	李宇斌	李志忠	李尚才	李昌锋	杨晓峰
沈兴德	陆 波	陆登槐	陈宝树	周 伟	郑劲松
信沛华	姚建廷	贺启林	赵 红	赵 锐	赵巧华
郝云彩	徐少立	徐金龙	郭 健	郭润全	黄宏业
黄 签	游发祥	董 芳	颜成瑗		

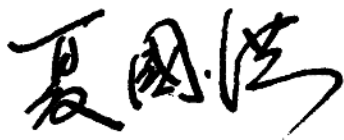
序

2000年6月28日，航天清华一号微型卫星发射成功。经过两年的运行，接收到700多景图像，达到了预期的设计效果。该星的发射与运行的成功，在璀璨的星空，增添了一颗精美的小星辰，这是航天清华卫星技术有限公司开拓创新、努力奋斗的丰硕成果。

我要特别感谢全国地方遥感应用协会，及时组织应用评价组，历时一年，细心分析、认真比较，为这一新生事物做出了肯定的结论，并在此基础上，加以总结和提高，撰写成本书，献给读者。

《航天清华一号卫星及其应用》一书是我国第一本介绍小卫星和航天清华一号微型卫星应用的专著，它翻开遥感应用新的一页，必然在航天遥感和科学界引起共鸣与振动。

相信在本书问世后的几年内，微型卫星和小卫星群将作为卫星家族中的成员而日益发展，并以其灵巧、轻便、价廉、应用广、入天易而独具特色。

A large, stylized handwritten signature in black ink, reading '夏国华' (Xia Guohua).

2002年7月8日

序

2000年6月28日, 航天清华一号微型卫星 (HT-1) 成功发射, 为我国卫星遥感应用增加了一个新的遥感信息源。2000年11月21日, 全国地方遥感应用协会向中国航天科工集团公司提出了关于开展 HT-1 数据应用评价的建议书 (在此之前已开始应用评价工作)。2001年7月11日, 中国航天科工集团公司以天机计 [2001] 298 号文, 正式委托全国地方遥感应用协会承担 HT-1 应用评价, 用了近一年的时间, 完成了应用评价工作。根据全国地方遥感应用协会二届七次常务理事会扩大会议决定, 在上述评价工作的基础上, 撰写了《航天清华一号卫星及其应用》一书, 作为庆祝全国地方遥感应用协会十周年的一项重要成果。该书对 HT-1 进行了全面的、系统的应用评价, 分析有据, 评价结论可信, 具有一定的理论水平和实用价值, 是我国第一部全面论述微型卫星应用的专著, 对微型卫星推广应用具有示范作用。该书经中国航天科工集团公司发展计划部聘请的专家委员会评审, 一致认为:

(1) 航天清华卫星技术有限公司研制的 HT-1 于 2000 年 6 月发射成功, 运行正常, 获得了大量的遥感图像数据, 是我国自主设计研制的第一颗微型遥感卫星, 为我国增加了一个新的遥感信息源 (3 波段), 填补了微型卫星遥感领域的空白。

(2) 全国地方遥感应用协会航天清华一号微型卫星应用评价项目组对 HT-1 图像数据进行了系统的处理和分析, 对图像质量、图像信息的处理方法和在不同领域中的应用潜力进行了评价, HT-1 地面分辨率约为 46m, 可用于 1:25 万比例尺的遥感调查。设置的 0, 1, 2 波段与陆地卫星 (Landsat) TM、中巴地球资源卫星 (CBERS-1) 4, 3, 2 波段基本相同, 光谱性相似, 图像总体质量较好。接收的图像经处理后, 层次丰富, 便于判读和解译。3 波段间的相关系数均小于 ETM 数据, 相互独立性好, 数据冗余度低, 波段波谱范围的选择比较合理。

(3) 应用评价表明, HT-1 图像可清晰地反映出河流、湖泊等水体, 道路, 林地, 农田及种植区, 裸地, 城镇居民区等不同的地形地貌和各种地物, 在国土资源调查、生态环境监测、湖泊与海岸研究、城市综合调查、地质勘探、河口沙洲动态变迁评价等方面均可应用。与 MODIS 卫星数据结合, 可用于全球环境变化的抽样调查。

(4) HT-1 图像数据存在不同程度的条带噪声, 相邻像元间的对比度较

低，波段有缺失等问题，后续星需进一步改进和提高。

我认为，专家委员会上述结论是公正的，对 HT-1 推广应用及以后的发展都有指导意义。该书图文并茂，公开出版发行，对科研、生产、教育、卫星应用等单位都有参考价值，并以此献给全国地方遥感应用协会 10 周年。

庄逢甘

2002 年 6 月 16 日

前 言

航天清华卫星技术有限公司研制的用于遥感、通讯和科学实验的我国第一颗微型卫星——航天清华一号微型卫星 (HT-1)，于 2000 年 6 月 28 日下午北京时间 18 点 37 分，在俄罗斯普列谢茨克航天发射场，搭载宇宙-3M 运载火箭发射进入太空，并准确进入 700km 太阳同步轨道。29 日凌晨，当卫星首次经过北京时，航天清华卫星技术有限公司卫星地面站成功实现对 HT-1 的信号捕获，之后又顺利进行了软件上载工作，目前卫星运行状态良好，已获得卫星遥感图像 700 多景。HT-1 研制并发射成功，为我国的航天遥感卫星增添了新的伙伴，开辟了一个新的信息源。

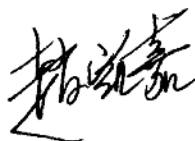
HT-1 特点是质量轻、体积小、风险小、能耗低、发射快、研制周期短、成本低、功能密度高、发射可以搭载、也可一箭多星，发射机动灵活便于管理，体现了微型航天器技术向“更高、更好、更省”发展的趋势。HT-1 的发射有力地推动了我国航天领域微型卫星的研制与开发技术向小型化、多星化、机动灵活的方向发展，还为我国小型液体和固体运载火箭卫星应用等相关产业的发展提供了广阔的市场。

2000 年 11 月 21 日，全国地方遥感应用协会以全遥发 [2000] 第 23 号文，向中国航天科工集团公司提出关于开展 HT-1 数据应用评价的建议书。2000 年 7 月 11 日，中国航天科工集团公司以天机计 [2001] 298 号文，委托全国地方遥感应用协会开展 HT-1 的数据评价工作和示范应用的研究工作。

全国地方遥感应用协会组织了 HT-1 的数据评价组，选取北京、广州、江苏、辽宁、山东、新疆等几十幅 HT-1 卫星图像数据进行了评价，由全国地方遥感应用协会秘书处负责北京密云景、天津塘沽景；湖南省遥感中心、核工业二三〇研究所和长沙金程中广科技公司负责长沙金井景、广州景、西洞庭湖景；江苏省遥感中心负责扬州景、长江口景、台北景；全国地方遥感应用协会环境遥感分会、辽宁环境遥感研究中心、大连市环境信息中心负责大连景、沈阳景；山东省地质遥感中心负责南四湖景、丁字湾景的数据质量评价，各自撰写了评价报告，并由刘侠、赵锐汇总成总报告。在此基础上，全国地方遥感应用协会北京、湖南、江苏、辽宁、山东的同仁们又开展了国内图像的应用示范评价和国外图像的定位和专题解译，并经过总结提高形成《航天清华一号卫星及其应用》第四至第六章原稿，全国地方遥感应用协会成员、航天清华卫星技术有限公司撰写了第一至第三章原稿。经赵锐、汤君友编辑成《航天清华一号卫星及其应用》一书，刘侠、陈宝树审定。2002 年 5 月 27 日，中国航天科工集团公司

发展计划部在北京召开了评审验收会，对《航天清华一号卫星及其应用》进行了评审。编委会根据评审专家的意见对全书进行了修改完善，由中国宇航出版社出版，作为庆祝全国地方遥感应用协会 10 周年的一项重要成果。

在此，我要衷心地感谢为本书提供原稿的同仁们，感谢为本书出版付出各种劳动的同仁们。同时希望本书能为读者带来丰富的材料，也盼望得到读者的批评指正。



2002 年 6 月 18 日

附录 I 正文附图

附录 II 航天清华一号微型卫星影像图

(附图为 HT-1 拍摄的具有价值的国内外影像图，共 45 幅，供读者参考)

目 录

第 1 章 小卫星简介	(1)
1.1 卫星发展和分类	(1)
1.2 国外小卫星现状	(2)
1.3 我国小卫星发展情况	(6)
1.4 国内外微型卫星对比分析	(7)
第 2 章 航天清华一号微型卫星系统	(9)
2.1 卫星结构与硬件	(9)
2.2 卫星平台性能	(12)
2.3 卫星有效载荷介绍	(16)
2.4 卫星发射和测控	(21)
2.5 卫星图像接收与预处理	(24)
第 3 章 航天清华一号微型卫星用户设备	(35)
3.1 卫星遥感图像数据地面网络请求、传输与接收系统	(35)
3.2 VHF/UHF 便携式地面站	(35)
第 4 章 航天清华一号微型卫星数据质量评价	(41)
4.1 卫星数据评价方法	(41)
4.2 卫星原始图像质量概况	(41)
4.3 卫星空间分辨率评价	(43)
4.4 卫星波段相关性评价	(46)
4.5 卫星噪声和清晰度评价	(48)
4.6 卫星波段错位评价	(49)
第 5 章 航天清华一号微型卫星数据应用评价	(51)
5.1 国土资源调查应用评价——江苏扬州例	(52)
5.2 土地利用调查应用评价——北京密云和天津塘沽例	(52)
5.3 流域生态监测评价——新疆艾比湖例	(54)
5.4 湖泊资源调查应用评价——南四湖和西洞庭湖例	(56)
5.5 海岸调查应用评价——山东丁字湾例	(57)
5.6 城市综合调查应用评价——广州和澳门例	(59)
5.7 地质调查应用评价——湖南长沙金井例	(60)
5.8 河口沙洲动态变迁评价——长江口南支例	(60)
5.9 环境监测应用评价——辽宁大连例	(61)

5.10 台湾地区分析评价	(62)
第 6 章 航天清华一号微型卫星评价总结	(63)
附录 I 正文附图	(彩插 1)
附录 II 航天清华一号微型卫星影像图	(彩插 9)

第 1 章 小卫星简介

1.1 卫星发展和分类

1.1.1 卫星的发展

1957 年 10 月 4 日, 苏联发射了第一颗人造地球卫星, 从此人类进入空间时代。40 多年来, 随着科学技术的不断进步和发展, 空间技术取得了巨大进展。人类不仅制造出各种各样、功能各异的卫星, 如通信卫星、气象卫星、遥感卫星、导航定位卫星、空间探测卫星, 以及用于科学试验的技术试验卫星等, 还建造了空间站和航天飞机等, 实现了载人航天。航天事业取得的这些成就, 极大地改善了人们的生活, 推动了人类文明的进步。

在空间技术发展的 40 多年里, 卫星在质量、功能和应用领域等方面都发生了极大的变化。卫星质量轻的只有几百克, 重的达几吨至几十吨。例如, 2000 年 2 月 6~10 日, 美国国防部高级研究计划署 (DARPA) 和宇航公司 (Aerospace) 成功地发射了世界上第一颗质量仅 245g 的皮型卫星。而用于对地观测的 SAR 卫星和静地轨道通信卫星的质量可达数吨以上。今天运载火箭的运载能力已不是卫星质量的主要限制因素, 到 20 世纪 80 年代, 数吨重的大卫星已成为航天工业的主流产品。进入 90 年代, 质量轻、成本低、性能好的小卫星得到发展。小卫星出现和发展的主要原因为:

1) 20 世纪 80 年代以来, 卫星基础技术取得突飞猛进的发展。碳纤维结构材料、新型姿态敏感器、卫星定位系统、砷化镓太阳能电池和镍氢蓄电池、星上计算机、高灵敏度多元遥感器件、高热传导等新材料和新工艺的发展, 都使卫星技术发生了质变。尤其是微电子技术飞速发展, 使卫星通信、遥感、定轨、定姿、姿态控制和轨道控制能力大为提高。现代卫星均有星上计算机, 卫星在地面站作用范围以外, 也能自主运行。元器件和原材料的小型化与轻量化, 卫星设计的标准化和模块化, 生产批量化, 为卫星向体积更小、功能更强、价格更廉、研制周期更短的方向发展开辟了广阔空间, 从而促使小卫星蓬勃发展。

2) 卫星是一个复杂的系统工程, 研制一种大型应用卫星, 往往需要几年甚至十几年的周期, 需要投入大量人力、物力和财力。为节省经费, 在设法延长大卫星在轨运行寿命的同时, 必须研制出低成本的卫星。小卫星及小卫星组网将成为较好的选择。

现代小卫星由于使用了许多先进技术, 尺寸和质量都大为减小, 研制周期缩短 (一般 6~36 个月), 且成本较低。尤其是几颗或几十颗小卫星组成卫星星座时, 能具有许多大卫星才有的功能。从而出现了小卫星与大卫星交相辉映、蓬勃发展的局面。

1.1.2 卫星分类

按照卫星运行的轨道可分为:

地球同步轨道卫星 (又称静止卫星): 卫星轨道高度为 36 000~40 000km。主要用于通

信广播、导航定位和气象。

太阳同步轨道卫星：卫星轨道高度一般为数百千米，椭圆形，保持与太阳同步。主要用于对地观测、海洋探测、气象监测和移动通信。

极地轨道卫星：卫星轨道通过地球两极。用途与太阳同步轨道卫星类似。

按照卫星技术特征可分为：

自旋稳定卫星；

三轴稳定卫星；

双自旋稳定卫星；

重力梯度稳定卫星；

多种稳定模式卫星。

按照卫星应用领域可分为：

通信卫星；

遥感卫星；

气象卫星；

科学试验卫星；

导航定位卫星；

返回式卫星。

按照卫星质量可分为：

普通卫星 (Satellite)：1 000kg 以上；

小卫星 (Small Satellite)：1 000~500kg；

超小卫星 (Mini Satellite)：500~100kg；

微型卫星 (Micro Satellite)：100~10kg；

纳型卫星 (Nano Satellite)：10~1kg；

皮型卫星 (Pico Satellite)：1kg 以下。

尽管人们可以按照不同的特点对卫星进行分类，但是，当我们谈论小卫星、超小卫星、微型卫星、纳型卫星及皮型卫星时，通常是指按照重量进行的分类，其特点是具有普通卫星功能。这类卫星，采用新的设计概念和方法，大量使用现代高新技术研制出的高功能密度部件，具有重量轻、体积小、成本低、研制周期短、风险小以及技术先进等特点。严格地讲，纳型卫星应界定为使用纳米元器件按纳米加工方法组装而成的卫星。有时人们也将重量在 500kg 至 10kg 的超小卫星和微型卫星通称为微小卫星。

截止到 2000 年，全世界已经发射或计划发射的小型航天器共约 400 个，大多数是小卫星或微型卫星，两者相加约占 90%。

1.2 国外小卫星现状

随着微电子技术的发展，特别是近年来以微型机电系统 (MEMS) 和微型光机电系统 (MOEMS) 为代表的微米技术的发展，使 100kg 以下的微型卫星和 10kg 的纳型卫星，甚至 1kg 的皮型卫星的实现成为可能。

20 世纪 80 年代以来，美国的 Draper 实验室、喷气推进实验室 (JPL)、LITTON 公司、

AD公司,德国 LITEF 公司,法国 SAGEM 公司和俄罗斯 Vector 公司等相继进行微硅陀螺、微硅加速度计等微型惯性仪表的研究,并形成产品,进而开展微型惯性测量组合的研究。Draper 实验室声称已做出了体积为 1 立方英寸的微型惯性测量组合,Draper 实验室称其微型陀螺的性能在开环低频带试验中,在温度为 $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$,未补偿的偏置稳定性为 $1^{\circ}/\text{s}$,标度因数重复性优于 0.1%。美国国家航空航天管理局(NASA)正在研制新一代高密度存储器,同样的存储面积容量增加近百倍。这些技术的发展都将使卫星集成度极大提高,体积大幅度减小。微型卫星、纳型卫星甚至皮型卫星的研究已成为航天技术研究的一个热点。

航天市场的需求也刺激了微型卫星技术的发展。重量轻、性能好、研制周期短和造价低的现代小卫星,特别是纳型卫星将给航天技术的发展带来新机遇。它将改变人们对航天事业高投入、高风险的传统观念,使更多的科技人员献身于航天事业,更多的新技术更快地应用于航天事业。事实上,现代小卫星已经在通信、遥感、电子侦察等领域获得广泛的应用,受到航天、军事及工业界和普通研究机构的普遍关注,成为航天技术发展的重要方向之一。发达国家都十分重视微小型技术在航天领域的应用,并制定了发展规划,如智能卵石计划、新千年计划、铱星计划、GLOBE STAR 计划等,并显示出良好的技术、经济和社会效益。

1.2.1 国外主要微小卫星研制与发射情况

(1) 美国

1996 年 9 月,美国公布的国家航天政策文件明确提出:通过支持一个强大、稳定和平衡的国家航天计划,保持美国对世界航天的领导作用;民用航天研究发展重点是空间科学、对地观测、载人航天和航天技术开发与应用;在国家航天安全方面,强调加强空间监视;积极鼓励开展商业航天活动,以增强美国经济竞争力;针对原有空间科学和载人航天技术发展策略,采取“更小、更好、更省”的新战略。

Clementine 月球探测器是美国海军研究实验室(NRL)研制的,1994 年 1 月 25 日发射,质量仅为 233kg,直径 1.14m,长 1.88m,研制周期 22 个月,耗资 5 500 万美元。其姿态控制系统满足整个飞行过程中 4 种不同轨道(地球轨道、地-月转移轨道、月球轨道和近地小行星轨道)、6 种制导模式和多种控制结构的要求,功耗为 42W,控制精度可达 0.05° ,工作寿命为 2 年。该探测器从元器件设计到技术管理方法都采用了先进技术。对 Clementine 月球探测器进行了 23 项新技术试验,并采用了许多最先进的部件,如镍氢电池、砷化镓太阳电池、低成本轻型反作用轮及碳纤维结构等微型、轻量化、低成本、高性能的商用元部件。探测器同时具有超强的软件功能,采用专家系统,大大提高了航天器的自主能力。研制管理采用“并行工程”管理模式。由于民用电子器件质量的提高和技术的进步,星上采用的二极管、晶体管和集成电路等商用器件,分别按军标筛选,仅淘汰 4%,3%和 1%。探测器成功地向地球发回 380 万张月球图像。

美国空军为提高军用卫星技术水平,计划进行一系列技术试验,其中空间试验平台(STEP)和微型敏感技术集成(MSTI)两项技术试验具有相当高的水平。

STEP 系列是把多项空间小型试验以模块方式组合进行空间在轨试验。该系列卫星由美国 TRW 公司承担,以标准模块为基础,根据空间试验任务的要求,可在短时间内完成卫星总装与测试。1990 年以来已发射 4 颗(两颗因发射故障未能入轨)。STEP 卫星质量为 180~800kg、三轴稳定控制、指向精度 $0.35^{\circ}\sim 0.5^{\circ}$ 、低轨运行、设计寿命 1~3 年。由于是技